

21 世纪高等学校电子信息类教材

模拟电路与数字电路

● 寇戈 蒋立平 编著

21 世纪高等学校电子信息类教材

模拟电路与数字电路

寇 戈 蒋立平 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书分为两部分,第一部分为模拟电路,内容包括绪论、半导体器件基础、放大电路基础、反馈放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路和直流电源;第二部分为数字电路,内容包括数字逻辑基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路引论、时序逻辑电路的分析与设计、脉冲信号的产生与整形。

本书注重基本概念、基本原理与基本计算的介绍,力求叙述简明扼要,通俗易懂,图形符号均采用了新国标,可以作为高等学校非电类各专业的电子技术基础课程教材,也可供有关技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路与数字电路/寇戈,蒋立平编著. —北京:电子工业出版社,2004.2

21世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-5053-9585-8

I. 模... II. ①寇... ②蒋... III. ①模拟电路-高等学校-教材 ②数字电路-高等学校-教材 IV. TN710
②TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第000786号

责任编辑:韩同平

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数:480千字

印 次:2004年2月第1次印刷

印 数:5000册 定价:25.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 bqj@phei.com.cn。

前 言

本教材是根据国家教委高等学校工科《电子技术基础课程教学基本要求》，参照非电类模拟电路和数字电路课程教学大纲编写的。为适应教学改革的要求，本教材压缩了一些对于非电类专业过高过深的内容及一些繁杂的运算，突出了该课程基本概念、基本技能的要求，并增加了一些电子技术的最新进展，使学生既能全面了解本学科的概貌，又能结合实际运用，重点学习一些基础理论，为日后进一步学习、研究奠定基础，这一出发点与 21 世纪对高级专业技术人才既有较深理论知识、又有较强动手能力的培养要求是相吻合的。

目前电子线路的相关教材不少，但是适宜于非电类专业授课 80 学时（模拟电路与数字电路各为 40 学时）的教材却不多，因此编者迫切感到编写一本合适教材的紧迫性。本教材在编写过程中，紧密结合教学实际，体现了如下编写思路：

1. 针对非电类的教学要求，力求简明扼要，并且语言通俗易懂，便于学生学习。

2. 突出技术基础课的特点，强调基础，尽量简化分析，避免大量的、繁杂的公式推导，注重应用，使学生在在学习过程中逐步建立理论知识应与实际联系的观点。

3. 在结构安排方面注意内容的系统性及完整性，从电子线路大前提出发，将模拟电路与数字电路两者的区别和联系突出体现，使学生对于两种电路形成完整不可分割的概念，又能区分二者的使用场合，最终目的是使学生在使用本教材时，将模拟电路与数字电路作为一门完整的课程来学习，掌握电子线路的基本理论，能进行简单、初步的设计，为今后深入学习及运用奠定基础。

4. 在内容的取舍上，由于数字电子技术的迅猛发展，因此数字电路内容较传统非电类教材有一定篇幅的增长，模拟电路部分也加强了集成电路内容（第 5 章），使教材内容符合电子技术的发展趋势。

5. 文字符号和图形符号全部采用新的国家标准。

全书分为两部分，共 12 章。第一部分为模拟电路，内容包括绪论、半导体器件基础、放大电路基础、反馈放大电路、集成运算放大器、正弦波振荡电路和直流电源；第二部分为数字电路，内容包括数字逻辑基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路引论、时序逻辑电路的分析与设计、脉冲信号的产生与整形。书中注有“*”号处，是选讲内容，可根据学时多少，决定取舍。

本书第一部分由寇戈编写，第二部分由蒋立平编写，寇戈负责全书的统稿工作。书稿承蒙东南大学无线电系黄正瑾教授审阅，提出了许多建议和意见，在此深表谢意！

由于编著者水平所限，书中难免存在错误与不当之处，诚恳希望读者批评指正。

编著者

目 录

第一部分 模拟电路

第1章 绪论	(1)
1.1 电子技术概述	(1)
1.1.1 电子技术	(1)
1.1.2 电子技术的发展历史	(1)
1.1.3 模拟信号与数字信号	(3)
1.1.4 模拟电路与数字电路	(4)
1.1.5 分立元件电路与集成电路	(4)
1.1.6 电子系统	(5)
1.2 电路模型	(6)
1.3 电子电路的特点及研究方法	(7)
1.4 学习本课程的目的和方法	(7)
第2章 半导体器件基础	(8)
2.1 半导体的基本知识	(8)
2.1.1 本征半导体	(8)
2.1.2 杂质半导体	(9)
2.1.3 PN结及其单向导电性	(10)
2.2 晶体二极管	(12)
2.2.1 晶体二极管的结构、符号、类型	(12)
2.2.2 晶体二极管的伏安特性与等效电路	(12)
2.2.3 晶体二极管的主要参数	(15)
2.2.4 晶体二极管的温度特性	(15)
2.2.5 晶体二极管的应用	(16)
2.2.6 稳压管	(17)
2.3 晶体三极管	(18)
2.3.1 晶体三极管的结构、符号、类型	(18)
2.3.2 晶体三极管的电流分配及放大作用	(19)
2.3.3 晶体三极管的伏安特性与等效电路	(22)
2.3.4 晶体三极管的主要参数	(24)
2.3.5 晶体三极管的应用	(25)
2.4 场效应管	(25)
2.4.1 场效应管的结构、类型	(26)
2.4.2 场效应管的工作原理	(27)
2.4.3 场效应管的特性曲线	(28)

2.4.4 场效应管的符号表示及主要参数	(29)
习题	(30)
第3章 放大电路基础	(33)
3.1 放大电路的基本概念	(33)
3.2 共发射极放大电路	(33)
3.2.1 共发射极组态基本放大电路的构成	(33)
3.2.2 共发射极组态基本放大电路的工作原理	(34)
3.3 放大电路的分析方法	(35)
3.3.1 静态和动态	(35)
3.3.2 直流通路和交流通路	(35)
3.3.3 放大电路的静态分析	(35)
3.3.4 放大电路的动态分析——图解分析法	(37)
3.3.5 放大电路的动态分析——小信号模型法	(39)
3.4 用H参数小信号模型分析共发射极基本放大电路	(42)
3.4.1 求电压增益	(43)
3.4.2 求输入电阻和输出电阻	(43)
3.5 稳定静态工作点的放大电路	(45)
3.5.1 温度对工作点的影响	(45)
3.5.2 分压式偏置电路	(46)
3.6 共集电极电路和共基极电路	(48)
3.6.1 共集电极放大电路(射极输出器)	(48)
3.6.2 共基极放大电路	(50)
3.6.3 三种基本组态放大电路的比较	(51)
3.7 放大电路的频率响应	(52)
3.7.1 幅频特性和相频特性	(53)
3.7.2 波特图	(53)
3.7.3 共发射极放大电路的频率特性	(53)
3.8 场效应管放大电路	(55)
3.8.1 FET放大电路的静态分析	(55)
3.8.2 FET放大电路的小信号模型分析法	(56)
3.9 多级放大电路	(57)
3.9.1 多级放大电路概述	(57)
3.9.2 多级放大电路的分析	(59)
3.9.3 多级放大电路的输入电阻和输出电阻	(60)
3.9.4 多级放大电路的频率响应	(62)
3.10 放大电路的主要性能指标	(62)
3.10.1 增益	(62)
3.10.2 输入电阻	(62)
3.10.3 输出电阻	(63)
3.10.4 带宽(通频带)	(63)

3.10.5 非线性失真	(63)
3.10.6 最大输出功率	(64)
习题	(64)
第4章 放大电路中的反馈	(69)
4.1 反馈的基本概念	(69)
4.2 反馈的分类	(70)
4.2.1 正反馈和负反馈	(70)
4.2.2 直流反馈和交流反馈	(71)
4.2.3 电压反馈和电流反馈	(71)
4.2.4 串联反馈和并联反馈	(72)
4.3 负反馈放大电路的增益	(73)
4.4 负反馈对放大电路性能的改善	(76)
4.4.1 提高增益的稳定性	(76)
4.4.2 减小非线性失真和噪声	(77)
4.4.3 扩展放大电路的通频带	(77)
4.4.4 改变放大电路的输入电阻和输出电阻	(78)
习题	(79)
第5章 集成运算放大器	(81)
5.1 集成运算放大器的构成	(81)
5.1.1 差分式放大电路	(81)
5.1.2 差分式放大电路的静态分析和动态分析	(84)
5.1.3 偏置电路	(91)
5.1.4 功率放大电路	(94)
5.2 集成运算放大器	(97)
5.2.1 集成运算放大器的符号	(97)
5.2.2 集成运算放大器的主要参数	(97)
5.2.3 理想运算放大器的特性	(99)
5.3 集成运算放大器的基本运算电路	(101)
5.3.1 求和运算电路	(101)
5.3.2 减法运算电路	(102)
5.3.3 积分电路和微分电路	(103)
*5.3.4 对数电路和指数电路	(104)
5.4 集成运算放大器的非线性应用	(105)
5.4.1 电压比较器	(105)
*5.4.2 非正弦波产生电路	(108)
习题	(111)
第6章 正弦波振荡电路	(115)
6.1 正弦波振荡电路的基本原理	(115)
6.1.1 产生振荡的条件	(115)
6.1.2 正弦波振荡电路的起振与稳定过程	(116)

6.1.3 正弦波振荡电路与负反馈自激振荡电路的区别	(116)
6.2 正弦波振荡电路的组成、分类和分析方法	(117)
6.2.1 正弦波振荡电路的组成和分类	(117)
6.2.2 振荡电路的分析方法	(117)
6.3 RC 振荡电路	(118)
6.3.1 文氏桥式振荡电路	(118)
6.3.2 RC 移相式振荡电路	(120)
6.3.3 双 T 式振荡电路	(120)
6.4 LC 振荡电路	(120)
6.4.1 LC 并联谐振电路的频率响应	(121)
6.4.2 变压器反馈式振荡电路	(122)
6.4.3 电感三点式 LC 振荡电路	(123)
6.4.4 电容三点式 LC 振荡电路	(123)
* 6.5 石英晶体振荡电路	(124)
6.5.1 石英晶体简介	(124)
6.5.2 石英晶体振荡电路	(125)
习题	(126)
第 7 章 直流稳压电源	(128)
7.1 直流稳压电源的基本组成	(128)
7.2 整流电路	(128)
7.2.1 半波整流电路	(128)
7.2.2 单相全波整流电路	(130)
7.2.3 桥式全波整流电路	(130)
7.3 滤波电路	(132)
7.3.1 电容滤波	(132)
7.3.2 其他滤波电路	(133)
7.4 稳压电路	(134)
7.4.1 稳压管稳压电路	(134)
7.4.2 晶体管串联型稳压电路	(135)
* 7.4.3 晶体管开关型稳压电路	(137)
7.4.4 集成稳压电路	(138)
习题	(139)

第二部分 数字电路

第 8 章 数字逻辑基础	(141)
8.1 数制与 BCD 码	(141)
8.1.1 常用数制	(142)
8.1.2 几种简单的编码	(146)
8.2 逻辑代数基础	(148)
8.2.1 基本逻辑运算	(148)

8.2.2	复合逻辑运算	(151)
8.2.3	逻辑电平与正、负逻辑	(153)
8.2.4	基本定律和规则	(155)
8.2.5	逻辑函数的标准形式	(158)
8.2.6	逻辑函数的化简	(165)
	习题	(175)
第9章	组合逻辑电路	(177)
9.1	由基本逻辑门构成的组合电路的分析和设计	(177)
9.1.1	组合电路的一般分析方法	(177)
9.1.2	组合电路的一般设计方法	(178)
9.2	MSI 构成的组合逻辑电路	(180)
9.2.1	自顶向下的模块化设计方法	(180)
9.2.2	编码器	(182)
9.2.3	译码器	(186)
9.2.4	数据选择器	(194)
9.2.5	加法器	(201)
9.2.6	数值比较器	(205)
	习题	(207)
第10章	时序逻辑电路引论	(209)
10.1	时序逻辑电路的基本概念	(209)
10.1.1	时序逻辑电路的结构模型	(209)
10.1.2	状态表和状态图	(210)
10.2	存储器件	(211)
10.3	锁存器	(212)
10.3.1	RS 锁存器	(212)
10.3.2	门控 RS 锁存器	(214)
10.3.3	D 锁存器	(215)
10.4	触发器	(216)
10.4.1	主从触发器	(217)
10.4.2	边沿触发器	(220)
10.4.3	集成触发器	(223)
10.5	触发器的脉冲工作特性	(224)
10.6	触发器逻辑功能的转换	(225)
10.6.1	代数法	(225)
10.6.2	图表法	(226)
10.7	触发器应用举例	(228)
	习题	(229)
第11章	时序逻辑电路的分析与设计	(233)
11.1	MSI 构成的时序逻辑电路	(233)
11.1.1	寄存器和移位寄存器	(234)

11.1.2 计数器	(239)
11.1.3 移位寄存器型计数器	(252)
11.2 同步时序逻辑电路的分析方法	(257)
11.3 同步时序逻辑电路的设计方法	(259)
11.3.1 用SSI设计同步时序逻辑电路	(259)
11.3.2 用MSI设计同步时序逻辑电路	(266)
习题	(271)
第12章 脉冲信号的产生与整形	(275)
12.1 555集成定时器	(275)
12.1.1 5G555定时器的电路结构	(275)
12.1.2 定时器的逻辑功能	(276)
12.2 施密特触发器	(277)
12.2.1 用555定时器构成的施密特触发器	(277)
12.2.2 集成施密特触发器	(278)
12.2.3 施密特触发器的应用	(279)
12.3 单稳态触发器	(279)
12.3.1 用555定时器构成的单稳态触发器	(280)
12.3.2 用施密特触发器构成的单稳态触发器	(281)
12.3.3 集成单稳态触发器	(281)
12.3.4 单稳态触发器的应用	(283)
12.4 多谐振荡器	(284)
12.4.1 用555定时器构成的多谐振荡器	(284)
12.4.2 用施密特触发器构成的多谐振荡器	(286)
12.4.3 石英晶体多谐振荡器	(287)
习题	(288)
参考文献	(290)

第一部分 模拟电路

第 1 章 绪 论

电子技术已渗透到工业、农业、科技和国防等各个领域,宇宙航行、人造卫星、通信、广播电视、电子计算机、自动控制、电子医疗设备以及我们的日常生活都离不开电子技术。20 世纪下半叶迅速发展起来的激光、光纤、光盘存储等技术及其与电子技术结合形成的光电子技术已经成为信息社会的重要技术基础。特别是世界进入信息时代的 21 世纪后,作为信息技术发展基础之一的电子技术必将随着微电子技术、光电子技术和其他高技术的进步而飞速发展,应用领域将更加广泛,给人类带来全新的工作方式和生活方式。

本章主要介绍电子技术的一些基本概念和电子系统的基本组成,简要介绍电子电路的特点和分析方法,为学好这门课程奠定基础。

1.1 电子技术概述

本节简要介绍电子技术相关概念及其发展历史。

1.1.1 电子技术

电子技术是研究电子器件、电子电路及其应用的科学技术。

电子器件用来实现信号的产生、放大、调制及探测等功能,常见的电子器件有电子管、晶体管和集成电路等。

电子电路是组成电子设备的基本单元,由电阻、电容、电感等电子元件和电子器件构成,具有某种特定功能。

1.1.2 电子技术的发展历史

电子技术,特别是微电子技术是 20 世纪发展最为迅速、影响最为广泛的技术成就。电子技术的核心是电子器件,电子器件的进步和换代,引起了电子电路极大的变化,出现了很多新的电路和应用。因此,电子技术的发展历史也可以说是电子器件不断更新换代的历史。

1869 年 Hittorf 和 Crookes 发明阴极射线管应是电子技术发展历史的起点。1904 年 11 月英国伦敦大学的 John Fleming 发明了真空电子二极管,这是一种在真空条件下利用电子在电场中的运动规律实现单向导电的器件。电子管的诞生,是人类电子文明的起点。当时意大利的 Marconi 已经发明了无线电(1901 年),于是二极管立即被应用于无线电检波和整流。

1906 年美国的 Lee De Forest 发明了对电子信号具有放大作用的真空电子三极管(简称电子管),该发明是电子技术史上的一个里程碑,他本人因发明三极管而被称为“无线电之父”。

人们从此找到了放大电信号的方法,使远程无线电通信成为可能。随着无线电技术的迅速发展,电子工业开始形成。

1926~1936年间随着量子力学的创立和量子场论的发展,不仅使人们对半导体的认识程度逐渐深入,也为微电子与光电子技术以及信息技术的发展奠定了科学基础。1930年*Electronics*杂志出版,从此出现了一个新的名词和新的产业。电子学是电路和系统中运用电子器件的工程领域及产业,20世纪前半叶电子学中真空管起主导作用。20世纪30年代末期,实验室中已经制作出早期的半导体器件。

在晶体管发明以前的近半个世纪里,电子管几乎是各种电子设备中惟一可用的电子器件。电子技术随后取得的许多成就,如电视、雷达、计算机的发明,都是和电子管分不开的。但是,电子管在体积、重量、功耗、寿命等方面存在局限性,远不能满足军事上轻便、高效的要求。美国贝尔实验室的研究人员 John Bardeen, William Shockley 和 Walter Brattain 合作研究晶体管的理论和制作。1947年底,他们用锗半导体晶体制成了具有电流、电压放大功能的第一只点接触型晶体三极管。这是电子科学技术发展史上又一个划时代的重大发明,从此拉开了电子技术革命的帷幕,为电子电路集成化和数字化提供了重要的物理基础。

初期的晶体管是点接触型的,制造比较困难,稳定性较差。1957年,贝尔实验室的研究人员发明了面接触型晶体管,将电子技术推向了一个新的阶段。此后取得的电子技术方面的许多成就,如集成电路、微处理器和微型计算机等,都是从晶体管发展而来的。晶体管出现后在众多技术领域中很快取代了电子管,目前仅在显示器件(例如电视机和计算机的显示器中的显像管、一些电子仪器中的示波管,等等)等不多的场合还在用电真空器件。

1958年,美国得克萨斯仪器公司(Texas Instruments)宣布一种集成振荡器问世,首次把晶体管和电阻、电容等集成在一块硅片上,构成了一个基本完整的单片式功能电路。1961年,美国仙童公司(Fairchild Semiconductor Inc.)宣布制成一种集成触发器。从此,集成电路获得了飞速的发展。所谓集成电路,就是把半导体管和电阻、电容等做在同一块硅片上,封装为一个具有多个引出端子的器件,它能够独立地或者与少数其他元件配合起来共同完成某种或某些功能,实现了材料、元件和电路的三合一,与传统的分立元件电路在设计方法、结构形式和生产方式上有着相当大的区别。集成电路的发明开创了集电子器件与某些电子元件于一体的新局面,使传统的电子器件概念发生了变化。这种新型的、封装好的器件体积和功耗都很小,具有独立的电路功能,甚至具有系统的功能。集成电路的发明使电子技术进入了微电子技术时期,是电子技术发展的一次重大飞跃。几十年来,集成电路经历了从小规模集成到中规模、大规模、超大规模,并向着极大规模集成阶段发展。描述集成电路发展速度的摩尔定律认为:集成度每18个月增长1倍,价格则下降为原来的1/2。

21世纪人类已进入了网络时代,超高速计算机、移动通信和数字化视听产品将彻底改变电子元器件的结构、特征尺寸和性能。传统意义上的分立元器件将被超微化、片式化、模块化、数字化、多功能化、智能化、绿色化、高频、高速、高可靠性和低功耗的复合器件所取代,这就要求核心器件——芯片必须具有强大的数据存储和处理能力,现代“蓝牙(Bluetooth)芯片”技术利用在一个芯片上集成这种系统功能,将芯片数量从5个降到1个,集信号处理器、微处理器、电话听筒模拟/数字转换器、扬声器、解码器于一身,完成了由IC(Integrated Circuits)到IS(Information System)的转变。

在信息时代,产品以其信息含量的多少和处理信息能力的强弱,决定着其附加值的高低,从而决定它在国际市场分工中的地位。即使是家电的更新换代也都是基于微电子技术的进

步。电子装备,包括机械装置,其灵巧程度直接关系到它的高附加值和市场竞争力,这些方面都依赖于集成电路芯片的“智慧”程度和使用程度。计算机的发展可以充分说明电子技术的发展与信息产业的关系。计算机从最初的机械手摇式,进而随电子器件的发展经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模及超大规模集成电路4个时代,电子计算机日新月异的发展充分代表了电子技术的水平,没有大规模及超大规模集成电路,计算机不可能迅速普及。同时计算机的发展也大大促进了电子技术的发展。

综上所述,电子技术的发展是以信息业市场(例如电信、广播、电视、计算机)的需求为动力的,而电子技术的发展,信息业设备和技术水平的提高,又反过来促进了信息业市场的扩大,形成良性循环。21世纪是信息时代,信息技术将在信息资源、信息处理和信息传递等方面实现微电子与光电子结合。智能计算与认知、脑科学结合将造就未来新一代电子元器件。作为电子信息产业发展基础的电子元器件产业将面临一场世纪性的变革,依靠技术创新,紧扣时代高科技的脉搏,加快电子元器件行业自身改造和完善,适应并推动我国信息产业的发展,支撑国民经济信息化,是我国电子元器件产业神圣的历史使命,也是在世界电子元器件产业中准确定位,在经济全球化中占有一席之地的惟一途径。

1.1.3 模拟信号与数字信号

信号是信息的载体。在人们周围的环境中,存在着电、声、光、磁、力等各种形式的信号。电子技术所处理的对象是载有信息的电信号。目前对于电信号的处理技术已经比较成熟。但是,在通信、测量、自动控制以及日常生活等各个领域也会遇到非电信号的处理问题,在实际中经常需要把待处理的非电信号先变成电信号,经过处理后再还原成非电信号。

在电子技术中遇到的电信号按其不同特点可分为两大类,即模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

在时间上和幅值上均是连续的信号叫做模拟信号。此类信号的特点是,在一定动态范围内幅值可取任意值。许多物理量,例如声音、压力、温度等均可通过相应的传感器转换为时间连续、数值连续的电压或电流。图1.1所示为一随时间变化的模拟电压信号。

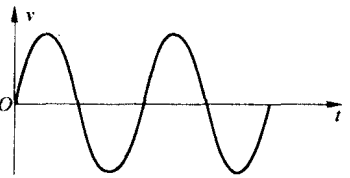


图 1.1 模拟电压信号

2. 数字信号

与模拟信号相对应,时间和幅值均离散(不连续)的信号叫做数字信号。数字信号的特点是幅值只可以取有限个值。图1.2所示为一常见的、应用最广的二进制数字信号。



图 1.2 二进制数字信号

同一个物理量,既可以采用模拟信号进行表征,也可以采用数字信号进行表征。例如,传统的录音磁带是以模拟形式记录声音信息的,而CD光盘(compact laser disk)则是以数字形式记录声音信息的。

1.1.4 模拟电路与数字电路

模拟信号和数字信号的特点不同,处理这两种信号的方法和电路也不同。一般地,电子电路可分为模拟电路和数字电路两大类。

1. 模拟电路

处理模拟信号电子电路称为模拟电路。模拟电路研究的重点是信号在处理过程中的波形变化以及器件和电路对信号波形的影响,主要采用电路分析的方法。

2. 数字电路

处理数字信号电子电路称为数字电路。数字电路着重研究各种电路的输入和输出之间的逻辑关系,分析时常利用逻辑代数、真值表、卡诺图和状态转换图等方法。

模拟电路和数字电路的分析方法有很大的差别,这是由模拟信号和数字信号的不同特点决定的。由于电子电路分为模拟电路和数字电路两部分,通常电子技术也被人们分为模拟电子技术和数字电子技术。但是这两种技术并不是孤立的,在许多情况下往往是模拟和数字两种技术并用的。

但是,随着电子技术的不断发展,数字电路的应用愈来愈广泛,在很多领域取代了模拟电路。其主要原因是:①数字电路更易采用各种算法进行编程,使其应用更加灵活;②数字电路可以提供更高的工作速度;③采用数字电路,数字信息的范围可以更宽,表示精度可以更高;④数字电路可以采用嵌入式纠错系统;⑤数字电路比模拟电路更易做到微型化,等等。

在电路的研究过程中,也经常会碰到线性电路和非线性电路两个术语。由电源和线性元件组合而成的电路,属于线性电路。线性元件是指元件的参数与电压、电流等电量无关,线性电路能用线性方程来描述其特性。不能用线性方程来描述其特性的电路称为非线性电路,大部分含电子器件的电路均属于非线性电路。

1.1.5 分立元件电路与集成电路

1. 分立元件电路

分立元件电路是将单个的电子元器件连接起来组成的电路。如果用分立元件实现功能复杂的电路或系统,势必造成元器件数目众多,体积、重量和功耗都将增大,而且可靠性也较差。

2. 集成电路

集成电路是采用一定的制造工艺将所有元器件都制作在一小块硅片上形成的电路。其优点是成本低、体积小、重量轻、功耗低、可靠性高,且便于维修。集成电路的应用很广,发展非常迅速。

在模拟电路和数字电路中,虽然都在大量使用集成电路器件,很多场合分立元件电路已经被集成电路所取代,但在这两种不同的电路中,集成电路器件的使用呈现不同的特点。在数字电路中,分立元件电路几乎被淘汰;而在模拟电路中,由于信号形状的多样性,功率要求的多样性,以及集成电路制造技术等原因,无法在集成电路内部实现大阻值电阻、大容量的电容器和电感、变压器等元件,因此在模拟电路的大功率、超高频等领域中,分立元件电路仍有一席之地。

本课程通过介绍分立元件电路,使读者掌握电路的一些基本概念和基本原理,以便进一步学习和研究集成电路。

1.1.6 电子系统

电子系统是指由相互作用的基本电路和器件构成的能够完成某种特定功能的电路整体。

图 1.3 所示为常见的扩音系统,是一个典型的模拟信号处理系统。先用传声器(话筒)将声波的机械振动转化为电信号,经声频放大器对电信号进行放大,再由扬声器(喇叭)将电信号还原成声音,这样就可以获得提高的音量。

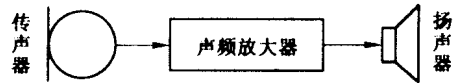


图 1.3 扩音系统

图 1.4 所示为一个用于流动细胞分析的激光血球计数系统,是一个较为简单的数字处理系统的例子。通过一定的方法,可以使血球排列成单行进入计数通道,当激光光束通过血球时,其散射光照射到硅光电池上,由光的强弱变化产生电脉冲信号,然后由数字信号处理电路进行计数,再通过数字显示器显示出来。同时由记录设备记录数据。电源的作用是为信号处理、显示、记录电路提供电能,使其正常工作。

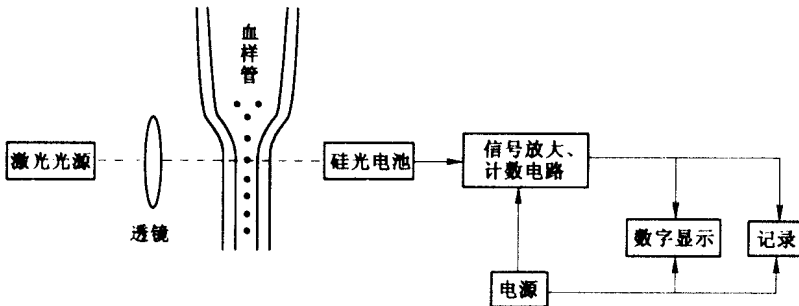


图 1.4 激光血球计数系统方框图

图 1.3 和图 1.4 是电子技术中处理信号的两种常见模式:一种是模拟方式;一种是数字方式。此外还有一种模拟-数字混合方式。不论采用哪种方式,其电子系统大致可由四个部分组成,即传感器、信号处理电路、再生器和电源,如图 1.5 所示。

如果需要处理的信号为电信号,则可以省去传感器。若在输出端不需要还原成非电信号,则可省去再生器。

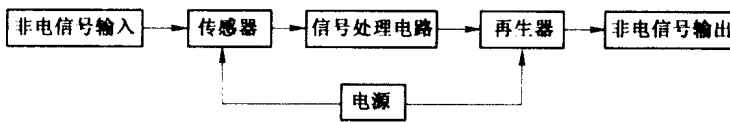


图 1.5 电子系统的基本组成框图

有的电子系统是非常复杂的,包含许多不同的功能电路。特别是集成电路飞速发展的今天,集成度越来越高,功能越来越多,在单个芯片上可能集成多种不同类型的电路,从而自成一个系统,外围电路却越来越简单。因此对于有些电路的内部结构及工作原理,没有必要搞得非常清楚,应用中关注的是系统的整个信号处理过程及外部特性,这一点对于正确使用电子系统是非常重要的。

许多实际的电子系统不是孤立地存在的,必须与其他的系统(例如机械系统、光学系统、图像处理系统、自动控制系统等)相互配合,才能构成完整的实用设备或仪器。因此在设计电子

系统时,就要考虑到各系统的协调关系,采用合理的接口,保证被连接的两部分电路之间信号的通畅和各自处于正常工作状态。

1.2 电路模型

在对实际电路的分析过程中,经常采用电路模型来表示器件或整个系统。因此,如何用相对简单的模型来表征复杂的物理器件是在电子技术中要研究的问题。采用模型的主要优点是易于采用数学方法和熟知的电路定律来处理问题。本书中晶体管和放大电路均是采用电路模型来研究的。

下面以电压放大电路为例,简单介绍电路模型在电路分析中的应用,以使读者对于电路模型的运用有初步概念。

放大是最基本的模拟信号处理功能,是通过放大电路实现的。大多数电子系统都应用了不同类型的放大电路。放大电路也是构成其他模拟电路,如滤波、振荡、稳压等功能电路的基本单元电路。放大电路可用如图 1.6 所示电路表示。图中 \dot{V}_s 为信号源电压, R_s 为信号源内阻, \dot{V}_i 和 i_i 分别为输入电压和输入电流, R_L 为负载电阻, \dot{V}_o 和 i_o 分别为输出电压和输出电流。

放大电路在图中以方框表示,这一部分可能由较复杂的电路组成,但在实际应用中,一般采用双口网络作为其模型,用一些基本的元件来构成电路模型(元件参数值可以通过对电路和元器件在工作状态下的分析来确定,也可以通过对实际电路的测量而得到),用来等效实际放大电路的输入和输出特性,对于实际放大电路的内部结构则忽略不计。

图 1.7 虚线框内的电路是一般的电压放大电路模型,它由输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 和受控电压源 $A_v \dot{V}_i$ 三个基本元件构成。其中 \dot{V}_i 为输入电压, A_v 为输出开路 ($R_L = \infty$) 时的电压增益。受控电压源是一种非独立的电压信号源,其输出受 \dot{V}_i 信号的控制。图中放大电路模型由电压信号源 \dot{V}_s 供能,可在负载 R_L 两端得到所需的输出信号 \dot{V}_o 。

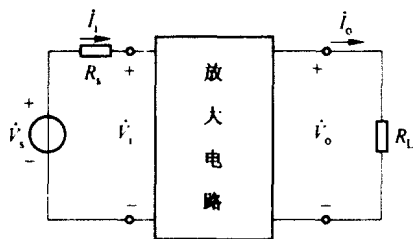


图 1.6 放大电路表示方法

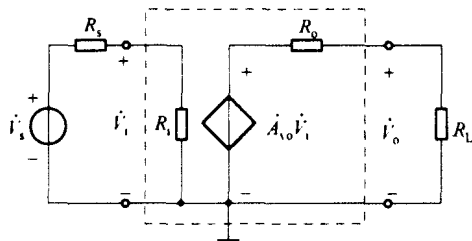


图 1.7 电压放大电路模型

注意到电路模型图中的输入回路和输出回路之间有一根连线,作为电路输入与输出信号的共同端点或参考电位点,标以“⊥”符号,该参考点有利于电子电路的分析。

那么,什么样的电路适宜采用电压放大电路模型呢?以下从输出负载与输入内阻两方面加以考虑。

由于 R_o 与 R_L 的分压作用,使负载电阻 R_L 上的电压信号 \dot{V}_o 小于受控电压源的信号幅值,即

$$\dot{V}_o = A_v \dot{V}_i \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

电压增益为

$$A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = A_v \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

负载 R_L 变化会影响增益 A_v 的数值, R_L 的减小使 A_v 下降。因此, 为了避免信号衰减, 要求 $R_o \ll R_L$ 。理想电压放大电路的输出电阻 $R_o = 0$ 。

对于输入电路, 由于信号源内阻 R_s 和放大电路输入电阻 R_i 的分压作用, 使放大电路输入端的实际电压为

$$\dot{V}_i = V_s \frac{R_i}{R_s + R_i}$$

若要使 R_s 对信号的衰减作用减小, 应设法提高电压放大电路的输入电阻 R_i , 使 $R_i \gg R_s$ 成立。理想电压放大电路的输入电阻 $R_i = \infty$, 此时 $\dot{V}_i = \dot{V}_s$ 。

由以上分析可知, 电压放大电路适用于信号源内阻 R_s 较小且负载电阻 R_L 较大的场合。

根据实际的输入信号和所需的输出信号的不同, 放大电路可分为 4 种类型, 即电压放大、电流放大、互阻放大和互导放大。原则上, 一个实际的放大电路可以取 4 种电路模型中任意一种作为它的电路模型。但是根据信号源的性质和负载要求, 一般只有其中一种模型在电路设计或分析中概念最明确, 运用最方便, 需要设计者分析使用条件, 从而正确运用。

1.3 电子电路的特点及研究方法

电子技术的发展经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模和超大规模集成电路 4 个时代, 新的电子器件出现使电子电路发生了很大的变化, 但就电路理论来说, 发展却相对较慢, 基本的电路理论和分析方法已经比较成熟。因此, 在学习时要注重掌握基本理论, 这对于设计、分析新的电路是非常有益的。

电子技术中所涉及的电路虽然很多, 但将其按功能分类, 一般可以分为信号产生电路、信号放大电路、信号变换电路、信号存储电路、信号运算与处理电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路和电源电路等, 在学习的时候要注意从不同功能的角度去学习、掌握, 并且搞清楚整个电子系统各个功能电路之间的连接和互相影响, 这样有助于电路的学习。

还有一个问题需要引起注意。随着电子技术的发展, 器件和电路的性能会越来越好, 同样的电路或系统, 可以采用不同的器件和功能电路实现, 这就要求设计者进行综合考虑, 从而提高性能, 降低成本。

电子技术中常用的电子器件大都是非线性的, 电路结构有时非常复杂, 难以进行精确的分析计算, 因此在工程计算的过程中, 在一定的前提条件下, 常常采用一些工程近似以简化问题。初学者需要特别注意工程近似的前提条件, 以便正确解决问题, 并使产生的误差在允许的范围内。

1.4 学习本课程的目的及方法

本课程是实践性很强的技术基础课, 其目的是通过相关内容的学习, 获得电子技术的基本理论、基本知识和基本技能, 为学习后续课程及从事工程技术和科学研究奠定基础。

由于电子技术是一门以实验为基础的学科, 实践性很强, 因此在学习过程中, 要注意理论联系实际。要熟悉有关测试仪器、设备的性能和正确的使用方法, 通过实验培养分析问题和解决问题的能力。在日常生活中要注意身边与电子技术有关的设备和家用电器, 有条件时多动手, 以不断增强观察能力、思维能力和动手能力。